



Factibilidad en sustentabilidad hídrica para invernaderos en Aramberri, Nuevo León

JAVIER LEAL IGA*

El término “sustentabilidad” no está definido en el diccionario de la lengua española,¹ en éste se define “sustentable” como “capaz de mantenerse o continuar en su mismo estado”, y “sostenible” como “dicho de un proceso: que puede mantenerse por sí mismo”. En el diccionario de la lengua inglesa² “sustentabilidad” se define como “la idea de que los bienes y servicios deben ser producidos de manera que no utilicen recursos que no puedan ser reemplazados y que no dañen el medio ambiente”. El término “sustentabilidad” fue definido por primera vez, en el Informe Brundtland³ de las Naciones Unidas en 1987, como aquello que “consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”.

Por otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo en México⁴ establece que se necesita hacer del cuidado del medio ambiente una fuente de beneficios palpable. Es decir, los incentivos económicos de las empresas y la sociedad deben contribuir a alcanzar un equilibrio entre la conservación de la biodiversidad, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el desarrollo de actividades productivas.

En el mismo sentido, se ha desarrollado el concepto de *la huella ecológica* como un indicador de sustentabilidad, diseñado por Wackernagel *et al.*⁵ para conocer el grado de impacto que ejerce cierta comunidad humana, persona, organización, país, región o ciudad sobre el ambiente.

Así, todas estas definiciones y estrategias tratan de establecer líneas de acción para la gestión del uso de los recursos naturales disponibles actualmente en el planeta, que aseguren la continuidad de esa disponibilidad en el tiempo, bajo la acción de consumo del ser humano para el desarrollo de su vida cotidiana.

Para su subsistencia, el humano consume productos agrícolas en su alimentación: cereales, frutas, vegetales, tubérculos,^{6,7} y obtiene además la materia prima necesaria para la producción de artículos, como telas, medicamentos, biocombustibles, alimento para animales, entre otros.

Debido a la importancia que tiene para el humano la actividad de la agricultura en la satisfacción de sus necesidades, y al hecho de que el agua dulce es uno de los recursos naturales indispensables para los procesos agrícolas (requiriendo 70% del agua dulce disponible a nivel mundial para ésta actividad).⁸ Se hace necesario establecer la factibilidad de que un cultivo sea hídricamente sustentable tomando en cuenta el agua de lluvia que sería necesaria para su operación, sin requerir el aporte de otras fuentes o reservas acuíferas que afecten las necesarias en otras actividades, presentes o futuras. Así, en el presente trabajo se elabora una propuesta de definición para la factibilidad de sustentabilidad hídrica (FSH) aplicable a un sistema productivo, así como su aplicación en un estudio de cultivo de tomate para determinar las condiciones que lo harían hídricamente sostenible.

FACTIBILIDAD EN SUSTENTABILIDAD HÍDRICA

Con base en que en el ciclo hidrológico la lluvia es el origen del agua dulce disponible en todas sus formas⁹, líquida, sólida, en ríos, embalses o subterránea, en el presente estudio se define la factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS) como “el área de captación de agua de lluvia que sería necesaria para la operación sostenible de un sistema productivo, que no requiera de aportes de otras fuentes o reservas acuíferas, evitando afectaciones a otros usos y actividades, actuales y futuras”.

Para el presente estudio se aplicará el análisis de factibilidad en sustentabilidad hídrica (FSH) para el cultivo de tomate en invernadero en la zona del municipio de Aramberri, en el estado de Nuevo León, México.

Agua aportada por lluvia en la zona de Aramberri, Nuevo León

Para la estimación del agua aportada por la lluvia en la zona de Aramberri, la información la proporcionó la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (Conagua),¹⁰ iden-

* Universidad Autónoma de Nuevo León, FIC.
Contacto: jlealiga@yahoo.com.mx

tificada como Estación Aramberri, localizada en latitud 24° 06' 14.66"N, longitud 99° 48' 40.66"O. La información de precipitación anual registrada en la estación, de 1971 a 2011, se presenta en la figura 1.

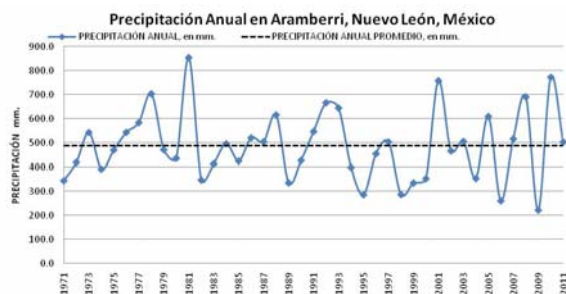


Fig. 1. Precipitación anual en Aramberri, Nuevo León. De 1971 a 2011.

La estadística descriptiva de las precipitaciones registradas en la estación Aramberri se presenta en la tabla I.

Tabla I. Estadística descriptiva de las precipitaciones registradas en la estación Aramberri.

Promedio anual mm.	487.58
Desviación Estándar mm.	146.0
Máxima mm.	854.6
Mínima mm.	222.0

Agua requerida para cultivar tomate

Requerimientos de riego

Los requerimientos de riego se ven influenciados principalmente por el sistema de cultivo, si es a cielo abierto o en invernadero. Diversos estudios indican que para cada sistema de cultivo, la eficiencia del sistema de riego influye directamente en el rendimiento del fruto.^{11,13-19} El riego en invernadero se efectúa con mecanismos y estructuras que permiten una mayor eficiencia evitando desperdicios, como canales de concreto o mampostería, sistemas de goteo, cintilla, aspersores, usando automatización, combinado con tensionómetros y medidores de humedad para determinar ciclos de riego sólo cuando la planta lo requiera. También se reporta el uso de lisímetros y de sensores de flujo de savia para estimar los requerimientos diarios de riego de los cultivos en invernadero.¹¹ Además, el invernadero protege al cultivo del viento, el cual es un precursor de pérdida de humedad por evaporación.¹²

Para la estimación del agua requerida para el cultivo de tomate se consideraron los estudios de Pérez Melian *et al.*,¹³

Blanc,¹⁴ Friis-Nielsen,¹⁵ Gladden *et al.*,¹⁶ Peil *et al.*,¹⁷ Cruz C. *et al.*¹⁸ y López Fuster *et al.*,¹⁹ los cuales concluyen que bajo invernadero los gastos de agua reportados para riego (T_{Ri}) son de 0.6 a 2 lt/día/planta, dependiendo de factores como el clima, la eficiencia según el tipo de riego, la variedad de la semilla usada, entre otros. Estos valores son menores a los reportados para cultivos a cielo abierto.

Rendimiento de tomate

En invernadero se reportan rendimientos de producción de tomate más altos que a cielo abierto.^{20,21} Debido a la protección que el invernadero proporciona al cultivo de las condiciones ambientales del exterior, es posible cultivar en épocas del año climáticamente inadecuadas. Además, dependiendo de la rentabilidad, con base en la demanda del mercado, los invernaderos permiten el uso de mecanismos para la adecuación del clima, así como de las técnicas de hidroponía y la aplicación de sustancias nutritivas.

También hay que considerar que el invernadero ofrece una mayor protección contra las plagas, un mejor control de enfermedades y, por ende, una mejor calidad del producto.²¹

Asimismo, la producción de tomates en invernaderos es totalmente distinta de la producción de cultivos a cielo abierto. Debido a los requisitos específicos de producción para asegurar plantas sanas y productivas, el tiempo necesario de mano de obra para la producción de tomates en invernadero es mucho mayor que en el cultivo a cielo abierto. Varias prácticas culturales semanales como poda, atado, polinización, rociamientos o pulverizaciones, entre otras, suman una cantidad de tiempo significativa que no se da cuando el cultivo es a cielo abierto.²²

Así, los rendimientos de tomate (T_{Re}) reportados por Cruz *et al.*,¹⁸ Ganesan *et al.*,²¹ Castilla²³, Sagarpa²⁴, Kafkafi *et al.*²⁵ y Houter *et al.*²⁶ son de 200 a 450 ton/ha/año en invernadero.

Densidad de cultivo de tomate

Para la densidad de cultivo de plantas de tomate por cada metro cuadrado, Snyder²² y Logendra *et al.*²⁷ reportan que el rendimiento de tomate, en kg/m², aumenta progresivamente al cosechar de 1 a 5 plantas/m², pero a partir de 5.5 y hasta 9 plantas/m² el rendimiento no se ve afectado.

En términos generales, Snyder²² establece que plantaciones con densidades mayores a 5 plantas/m² produjeron los mismos kilos de tomate por unidad de área. Mientras que

Logendra *et al.*²⁷ establecen que densidades de plantación mayores a 5.5 plantas/m² afectan el rendimiento de la fruta por planta (disminuyendo los kg/planta), pero no afectan el rendimiento de la fruta por unidad de área (manteniéndose constantes los kg/m²).

Por otra parte, estudios en condiciones de invernadero¹¹ se han realizado para sistemas productivos de Europa, Estados Unidos y Canadá, donde usualmente se tienen bajas densidades de plantas (<=3 plantas m²), a diferencia de las densidades utilizadas en el centro de México (>=4 plantas m²). Así, para el presente estudio se considerará una densidad de cultivo de tomate (T_D) de 4 plantas/m² para invernadero.

Cálculo del agua requerida para cultivar tomate

Para complementar el estudio, el agua requerida para cultivar tomate en invernaderos se calculará por hectárea y por tonelada, mediante las ecuaciones (1) y (2), respectivamente.

$$A_{R/ha} = T_D \cdot T_{Ri} \cdot \eta \quad (1)$$

(2)

Donde $A_{R/ha}$ es el agua requerida para cultivar el tomate, m³/ha/año; T_D es la densidad de cultivo de tomate = 4, plantas/m², para Aramberri, N.L.; T_{Ri} es el riego, lt/día/planta; η es la constante de conversión de unidades = 3650 (a); es el agua requerida para la cultivo de tomate, m³/ton/año; y T_{Re} , el rendimiento de tomate, ton/ha/año.

Los resultados de calcular el agua requerida para cultivo de tomate en m³/ha/año ($A_{R/ha}$) y en m³/ton/año ($A_{R/ton}$), con los datos antes mencionados de agua de riego en invernadero (T_{Ri}) para el rango mínimo de 0.6 y máximo de 2.0 lt/día/planta, se muestran en la tabla II.

Tabla II. Agua requerida para cultivar tomate en un invernadero localizado en Aramberri, N.L., $A_{R/ha}$ y $A_{R/ton}$.

	Invernadero	
T_{Ri} lt/día/planta	0.6	2.0
T_{Re} ton/ha/año	200	450
$A_{R/ha}$ m ³ /ha/año	8,760	29,200
$A_{R/ton}$ m ³ /ton/año	43.800	64.889

(a) de m² a ha, lt a m³ y día a año.

(b) de mm de lluvia por hectárea a m³.

Factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS) para invernaderos al cosechar tomate en Aramberri, N.L.

La factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS) para invernaderos se establecerá al calcular el área de captación de agua de lluvia que se requiere para operar una hectárea de invernadero al cultivar tomate (ha/ha), aplicado a la zona de Aramberri, N.L.

Así, en el presente trabajo, para el cálculo de la FHS, se propone el modelo formado por la ecuación (3).

$$FHS = \frac{A_{R/ha}}{A_{presip.} \cdot \beta} \quad (3)$$

Donde FHS es la factibilidad en sustentabilidad hídrica, ha/ha; $A_{presip.}$ la precipitación promedio anual = 487.58 mm, para Aramberri, N.L. (tabla I) y β la constante de conversión de unidades = 10 (b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla III muestra los resultados de factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS) para invernaderos en Aramberri, N.L., al aplicar las ecuaciones (1) y (3) del modelo propuesto a los datos de la tabla II.

Tabla III. Factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS) para invernaderos en la zona de Aramberri, N.L.

	Invernadero	
T_{Ri}	0.6 lt/día/planta	2.0 lt/día/planta
FHS	1.797 ha/ha	5.989 ha/ha

Así, la tabla III nos permite establecer que, dependiendo de la eficiencia de los sistemas de riego, se requieren de 1.8 a 6.0 hectáreas de captación de lluvia en Aramberri, Nuevo León, para que sea factible sostener hídricamente la operación de una hectárea de cultivo de tomate en invernadero. Se considera que el riego típicamente puede variar de 0.6 a 2.0 lt/día/planta.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se propone una definición de factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS) aplicable a sistemas productivos. Asimismo, un modelo para el cálculo de la FHS para invernaderos, el cual permite establecer la cantidad de área de acopio de agua de lluvia que sería necesaria para que un cultivo de tomate sea hídricamente sustentable sin el apor-

te de fuentes externas o reservas acuíferas. Al aplicar el modelo propuesto de FHS para invernaderos localizados en Aramberri, Nuevo León, se concluye que, dependiendo de la eficiencia de riego que se tenga presente en cada caso particular, se requieren de 1.8 a 6.0 hectáreas de captación de agua de lluvia por cada hectárea de invernadero para que el cultivo de tomate sea hídricamente sostenible.

La FHS proporciona una base para establecer la factibilidad económica de considerar la construcción de las obras necesarias, con dimensiones adecuadas para el acopio de agua de lluvia que hagan hídricamente sostenible un sistema productivo.

RESUMEN

Se presenta una definición de la factibilidad en sustentabilidad hídrica (FHS). Se establece a la FHS como el área de captación de agua de lluvia que sería necesaria para sostener hídricamente un sistema productivo sin que se requieran aportaciones de otras fuentes o reservas acuíferas. Además, se desarrolla un modelo para el cálculo de la FHS aplicado al cultivo de tomate en invernaderos. Con el modelo se analiza la de FHS para invernaderos localizados en la zona de Aramberri, Nuevo León, México. El resultado permite determinar el área de acopio de lluvia que haría hídricamente sostenible la operación de un invernadero con cultivo de tomate en la zona de estudio.

Palabras clave: Sustentabilidad hídrica, Invernaderos, Área de acopio, Lluvia, Aramberri, Nuevo León, México.

ABSTRACT

A definition of the Feasibility of Hydric Sustainability is presented (FHS). Where FHS is defined as the collecting rainwater area that would be necessary to hydrically maintain a productive system without requiring contributions from other sources or water reserves. Moreover, a model is developed for the calculation of the FHS applied to the cultivation of tomato in greenhouses. With the model, an analysis is done of FHS for greenhouses located in the area of Aramberri, Nuevo León, México. The results allow to determine the area of collecting rainwater that would make the operation of a greenhouse with cultivation of tomato hydrically sustainable in the area of study.

Keywords: Hydric Sustainability, Greenhouse, Collecting area, Rainwater, Aramberri, Nuevo León, México.

REFERENCIAS

1. Diccionario de la lengua española, 22ª Ed., (2009). Espasa-Calpe, Planeta de libros.com, Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona, España. ISBN:9788423968145. <http://rae.es/>
2. Cambridge Advanced Learner's Dictionary, Third Ed, 2008. Cambridge University Press, UHP, Shaftesbury Road, Cambridge, CB2 8BS, United Kingdom. ISBN:9780521674683. <http://dictionary.cambridge.org/>
3. Brundtland Harlem G., (1987). "Our Common Future: Brundtland Report", World Commission On Environment and Development ONU, Oxford University Press, p. 27. ISBN:019282080X. 20 March.
4. Peña Nieto E., (2013), "IV.2 Plan de Acción", Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 para México. <http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>
5. Wackernagel M., Rees W., (2001). Nuestra huella ecológica, LOM, Santiago de Chile. <http://www.footprintnetwork.org>
6. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2013). "Tabla de composición de alimentos en América Latina". <http://www.rlc.fao.org/es/conozca-fao/que-hace-fao/estadisticas/composicion-alimentos/introduccion/>
7. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2003). "Consumo de alimentos por país". www.fao.org/fileadmin/.../FoodConsumptionFoodGroups_es.xls
8. Agua para la alimentación, "Agua para la vida", (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) & International Water Management Institute. ISBN:978-92-5-306020-7, Editado por Earthscan, 22883 Quicksilver Drive, Sterling, VA 20166-2012, EE.UU, www.earthscan.co.uk
9. Consejo Consultivo de Agua, A. C., (2013). Monte Pelvoux Neo. 111, piso 2. Colonia Lomas de Chapultepec. Delegación Miguel Hifalgo. CP 11000. México, D.F. TEL (5) 52 84 28 46 | FAX (5) 52 84 28 03. <http://www.aguas.org.mx/sitio/02a.html>
10. Comisión Nacional del Agua (Conagua), Organismo de Cuenca Río Bravo, Av. Constitución 4103 Ote. Col. Fierro Monterrey, N. L. C.P. 64590. 2012. Tel. :0181 8355 0337 0181 8354 3203
11. J. Flores, W. Ojeda-Bustamante, I. López, A. Rojano, I. Salazar, (2007) "Requerimientos de riego para tomate de invernadero", TERRA Latinoamericana, Vol. 25, Núm. 2, abril-junio, pp. 127-134. ISSN: 0187-5779.
12. Montero J., Ortega J.F., Honrubia F.T., Ortiz J., Valiente M., Tarjuelo J.M., (1999). "Recomendaciones para un adecuado diseño y manejo de los sistemas de riego por aspersión", Centro Regional de Estudios del Agua, Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla, La Mancha. Campus Universitario s/n, Albacete 02071, España. <http://4w.cajaduero.es/agro/public/remolacha/Riego2.htm>
13. Pérez Melian G., Santana O., Luque Escalona A. y Carpena Artes O., (1977). "Absorción de agua e iones por plantas de tomate". Anales de Edafología y Agrobiología, Tomo XXXVI, Num.7.8. Madrid.
14. Blanc D., (1973). "Influence du regime hydrique sur la production et la consommation en eau et en elements minéraux de la tomate de serre en culture sans sol". Proc. 3th Intern. Congress on Soilless Culture. 227 - 238. Sassari, Italia.
15. Friis-Nielsen B., (1973). "Growth, water and nutrient status of plants in relation to patterns of variations in concentrations of dry matter and nutrient elements in base-to-top leaves, I. Distribution of content and concentrations of dry matter in tomato plants under different growth conditions". Plant and Soil vol.39: p.675-686, December 01. ISSN: 0032-079X (print version) ISSN: 1573-5036 (electronic version)
16. Gladden A.L., Wang Y.M., Hsieh C.H. and Tsou I., (2012). "Using deficit irrigation approach for evaluating the effects of water

- restriction on field grown tomato (*Lycopersicon esculentum*)", African Journal of Agricultural Research Vol. 7(14), pp. 2083-2095, 12 April. <http://www.academicjournals.org/AJAR>; DOI: 10.5897/AJAR11.876; ISSN 1991-637X
17. Peil R.M.N., Gálvez J.L., (2004). "Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico". Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.2, p.265-270, abril-junio.
 18. Cruz Carrillo J., Jiménez Félix R. J., Díaz G., Sánchez P., Perales C., Arellanes A., (2003). "Evaluación de densidades de siembra en tomate (*Lycopersicon esculentum* MILL) en invernadero", Agro-nomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica, Vol. 14, Num.001, pp.85-88. ISSN:1021-7444.
 19. López Fuster, P. ; Montoro Rodríguez, A., (2002). "El ahorro como principal recurso de agua para el futuro", Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural, Ministerio de Agricultura y el Desarrollo Rural, Instituto Técnico Agronómico Provincial. ITAP. Albacete, Toledo, 26 de septiembre.
 20. Maldonado Cortez M., (2004). "Híbridos de hortalizas para invernaderos", Segundo Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Mayo. Fundación U.A.N.L.
 21. Ganesan, M., Subashini, H.D., (2001). "Study on biometric characteristics of tomato grown in poly greenhouse and open field conditions". Madras Agricultural Journal, 88 (10-12). pp. 682-683. ISSN 0024-9602
 22. Snyder R.G., (1914). "Guía de cultivo de tomate en invernadero", Publicación 2419 del Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi en cooperación con el Departamento de Agricultura de U.S., De acuerdo a actas del Congreso de 8 May-30 Jun. ricks@ext.msstate.edu
 23. Castilla N., (2003). "Estructuras y equipamientos de invernaderos". p. 1-11 En: J.Z. Castellanos y J.J. MuñozRamos.(Eds) Memoria delCurso internacional de producción de hortalizas en invernadero. INIFAP. México.
 24. Sagarpa, (2012). Estadísticas Básicas Agropecuarias. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Sagarpa. México.http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
 25. Kafkafi U., Tarchitzky J., (2011). "Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management.", International Fertilizer Industry Association (IFA), International Potash Institute (IPI), rue Marbeuf, 75008, Paris, France. ISBN 978-2-9523139-8-8.
 26. Houter B., Nederhoff E., (2006). "Controlling plant growth in greenhouses – introduction", Published in the Grower 61(9), p. 60-61, Funded by Horticulture NZ and MAF Sustainable Farming Fund, CropHouse Ltd, New Zealand. Elly@CropHouse.co.nz
 27. Logendra L.S., Gianfagna T.J., , Specca D.R., and Janes H.W., (2001). "Greenhouse Tomato Limited Cluster Production Systems: Crop Management Practices Affect Yield", Plant Science Department, Rutgers University, 59 Dudley Road, New Brunswick,NJ 08901-8520, HORTSCIENCE 36(5):893-896. ISSN: 0018-5345.

Recibido: 02/09/14

Aceptado: 02/06/2015